



Alternancia entre el estado de emisión de Rayos-X y Pulsar en Sistemas Binarios Interactuantes

M.A. De Vito^{1,2}, O.G. Benvenuto^{1,2,3} & J.E. Horvath⁴

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP)

² Instituto de Astrofísica de La Plata (CCT - CONICET)

³ Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

⁴ Instituto de Astronomía, Geofísica e Ciências Atmosféricas (Universidade de São Paulo)

Contacto/ ACR: adevito@fcaglp.unlp.edu.ar

Resumen / Los *redbacks* forman parte de la familia de sistemas binarios en los que una de las componentes es un pulsar. Observaciones recientes muestran *redbacks* que han cambiado su estado de pulsar - acompañante de baja masa (en el que ha cesado la acreción de material sobre el pulsar) a sistema binario de baja masa con emisión de rayos-X (donde la emisión se produce por la acreción de masa sobre el pulsar), o inversamente.

El efecto de la irradiación incluido en nuestros modelos da lugar a episodios de transferencia de masa cíclica, que permite que los sistemas binarios interactuantes pasen de un estado a otro.

Aplicamos nuestros resultados al caso de PSR J1723-2837, y discutimos la necesidad de incluir nuevos ingredientes a nuestro código de evolución binaria para describir estos cambios de estado observados.

Abstract / Redbacks belong to the family of binary systems in which one of the components is a pulsar. Recent observations show redbacks that have switch their state from pulsar - low mass companion (where the accretion of material over the pulsar has ceased) to low mass X-ray binary system (where emission is produced by the mass accretion on the pulsar), or inversely.

The irradiation effect included in our models leads to cyclic mass transfer episodes, which allows close binary systems to switch between one state to other.

We apply our results to the case of PSR J1723-2837, and discuss the need to include new ingredients in our code of binary evolution to describe the observed state transitions.

Keywords / (stars:) binaries (including multiple): close(stars:) — pulsars: general(stars:) — pulsars: individual (PSR J1723-2837)

1. Introducción

Los sistemas binarios interactuantes (SBI) son aquellos en los que ocurre transferencia de masa (TM) desde una componente a la otra. La estrella donante (ED) alcanza el tamaño del lóbulo de Roche, y le transfiere masa a la estrella receptora a través del punto L_1 de Lagrange. Iniciado el/los eventos de TM, la evolución de ambas componentes cambia completamente respecto de la que hubieran tenido estando aisladas.

Para calcular la evolución de estrellas que pertenecen a SBIs, hemos desarrollado un código de evolución binaria. En el marco del tratamiento *standard*, el código lleva adelante cálculos en los que se computa de manera *autoconsistente* el valor de la tasa de pérdida de masa, así como el inicio y final de las etapas de TM. Consideramos en nuestros cálculos pérdidas de energía por radiación gravitatoria, momento angular y frenado magnético, y se sigue en detalle la evolución orbital del sistema. Nuestro código cuenta con un tratamiento físico actualizado de los modelos estelares. Además es capaz de considerar diferentes fracciones de tasas de acreción de materia sobre la estrella receptora (Benvenuto & De Vito 2003, De Vito & Benvenuto 2012).

Durante la etapa de TM en un SBI, éste se muestra

como fuente de rayos-X, siendo generalmente detectable como sistema binario (SB) de baja masa en rayos-X (LMXB).

Los modelos *standard* de SBIs predicen una larga etapa de TM con un pequeño número de nuevos episodios de desbordes del lóbulo de Roche (RLOFs), debido a los flashes termonucleares experimentados por la ED. Como resultado de los cálculos (ver, por ejemplo, Benvenuto & De Vito 2005) se obtiene un pulsar de milisegundo (PMS), con $P_{rot} < 10$ ms (P_{rot} es el período de rotación del pulsar) y una compañera enana blanca de baja masa, con $M_2 \sim 0.2-0.3 M_\odot$ (M_2 es la masa de la ED).

Sin embargo, los modelos *standard* de SBIs no pueden explicar la existencia de PMS aislados. Tampoco pueden dar cuenta de la existencia de *black widows* (sistemas binarios con $0.1 < P_{orb}/d < 1$, P_{orb} es el período orbital del sistema, y $M_2 < 0.05 M_\odot$) ni de los *redbacks* (con P_{orb} en el mismo rango que los *black widows*, pero con acompañantes más masivas, $0.2 < M_2/M_\odot < 0.7$).

Es necesario, entonces, incluir nuevos ingredientes al código de evolución binaria que nos permitan obtener modelos más realistas.

2. La evaporación y la irradiación

El viento de evaporación producido por la irradiación del pulsar le genera una pérdida de masa extra a la ED, dada por

$$\dot{M}_{2,evap} = \frac{\alpha_{evap}}{2v_{2,esc}^2} L_P \left(\frac{R_2}{a} \right)^2 \quad (1)$$

donde α_{evap} es el coeficiente de evaporación, R_2 es el radio de la ED, a es el semieje orbital, $v_{2,esc}$ la velocidad de escape en la ED y L_P la luminosidad de frenado del pulsar (Stevens et al., 1992).

Por otra parte, cuando la ED le transfiere masa a la estrella de neutrones (EN), ésta libera una luminosidad de acreción que ilumina a la ED con un flujo de irradiación

$$F_{irr} = \frac{\alpha_{irr}}{4\pi a^2} \left(\frac{GM_{NS}}{R_{NS}} \right) \dot{M}_{NS} \left(\frac{R_2}{a} \right)^2 \quad (2)$$

donde α_{irrad} es la fracción de dicha luminosidad que participa del proceso de irradiación mutua; R_{NS} y M_{NS} son el radio y la masa de la EN, respectivamente; y \dot{M}_{NS} es la tasa de acreción (Büning & Ritter, 2004).

Considerar el efecto de la irradiación conduce a modelos con TM cíclica (Büning & Ritter 2004; Benvenuto et al. 2012). Los cálculos evolutivos predicen alternancia entre estados de TM, en los que el SB se observa como un LMXB, y estados en los que la estrella receptora deja de acretar material y puede observarse el pulsar de milisegundo (PMS).

2.1. Sistemas que cambian de LMXB a PMS, y viceversa

Las observaciones han dado cuenta de la existencia de sistemas que alternan entre estados de LMXB y PMS. Citamos a continuación algunos de estos objetos, todos ellos ubicados en la región de *redbacks*.

Wijnands & van der Klis (1998) detectaron pulsos coherentes de rayos-X de milisegundo en el flujo persistente de rayos-X de la fuente SAX 1808.4-3658. Se espera que esta fuente se vuelva un PMS cuando termine la etapa de TM. La ED en FIRST J102347.67+003841.2 probablemente se encuentre llenando su lóbulo de Roche. La posición de esta fuente coincide con la de PSR J1023+0038. En 2001 se observó evidencia de flujo de masa. Desde 2002 se registró un estado de quietud. A mediados de 2013 aumentó la emisión UV y en rayos-X (Stappers et al. 2013; Patruno et al. 2014), junto con la interrupción de pulsos en radio: regresó la fase de LMXB. PSR J1824-2452I ha cambiado del estado de LMXB a PMS en la última década (Papitto et al., 2013). Esto ocurrió en un tiempo característico del orden de meses - años, mucho más corto que la escala de tiempo asociada a la TM cíclica debido a la irradiación (del orden de millones de años). PSR J1723-2837 es un sistema eclipsante. Crawford et al. (2013) identificaron a la compañera en el IR, óptico y UV. Su tipo espectral se encuentra entre G0 y K5, y su temperatura efectiva (T_{eff}) entre 5000 y 6000 K. Se estima un valor para su

masa entre 0.4 y $0.7M_{\odot}$ (para $1.4 < M_{NS}/M_{\odot} < 2.0$), con un radio mayor que el esperado: se encuentra en estado de *quasi-RLOF* (“casi desborde del lóbulo de Roche”, ver Benvenuto et al. 2014). Finalmente mencionamos a XSS J12270-4859, que experimentó recientemente una transición de LMXB a PMS (Roy et al. 2014; Bassa et al. 2014).

3. El caso del sistema redback PSR J1723-2837

Una aplicación de nuestros cálculos puede hacerse al sistema *redback* que contiene a PSR J1723-2837. Para ello, consideramos la evolución de una ED de masa inicial $(M_2)_i = 1.25 M_{\odot}$, una EN receptora de $(M_{NS})_i = 1.4 M_{\odot}$, un período orbital inicial $(P_{orb})_i = 0.75$ d, y valores $\alpha_{irr} = 0.00, 0.01, 0.10$ y 1.00 para el coeficiente de irradiación (tomados de la librería de cálculos realizados en Benvenuto et al. 2014).

En la Figura 1 se muestran los recorridos evolutivos; en la Figura 2 se muestra la relación $M_2 - P_{orb}$; y en la Figura 3 la TM en función del tiempo.

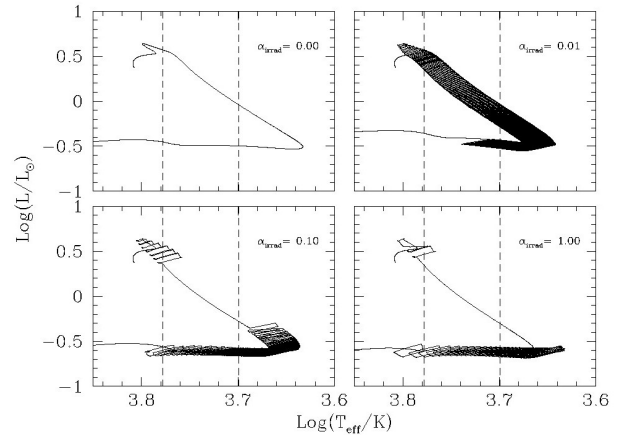


Fig. 1: Recorridos evolutivos correspondientes a modelos con $(M_2)_i = 1.25 M_{\odot}$, $(M_{NS})_i = 1.4 M_{\odot}$, $(P_{orb})_i = 0.75$ d, y valores $\alpha_{irr} = 0.00, 0.01, 0.10$ y 1.00 . Con líneas quebradas verticales se delimita el rango de temperaturas efectivas estimado para la ED del SB.

Puede observarse que los recorridos evolutivos pasan por la región de temperaturas efectivas compatibles con las observadas para la compañera de PSR J1723-2837 (Figura 1), y que se alcanza el valor del período orbital observado ($P_{orb} = 14.76$ h) al valor estimado de la masa de la compañera de PSR J1723-2837 (Figura 2)

Nótese, además (Figura 3), que si $\alpha_{irr} = 0.00$ hay un único y largo episodio de TM, mientras que para los casos de $\alpha_{irr} \neq 0$ ocurre un gran número de eventos de TM.

El cociente de masas $q \equiv M_{NS}/M_2$ tiene un valor de 3.3 ± 0.5 , obtenido desde las observaciones. Nuestros modelos alcanzan este valor a una edad de ~ 4.9 Giga años (Figura 4). A esa edad, los modelos con $\alpha_{irr} =$

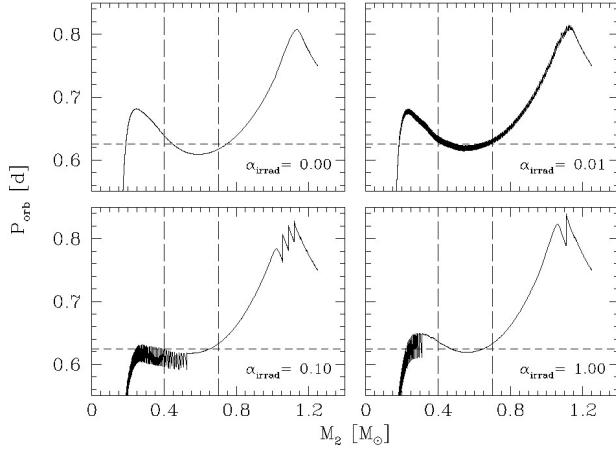


Fig. 2: Relación $M_2 - P_{orb}$ para los modelos presentados en la Figura 1. Con línea quebrada-corta horizontal se marca el valor del período orbital observado para el SB que contiene a PSR J1723-2837, y con líneas quebradas-largas verticales el rango de masas estimado para la acompañante del pulsar.

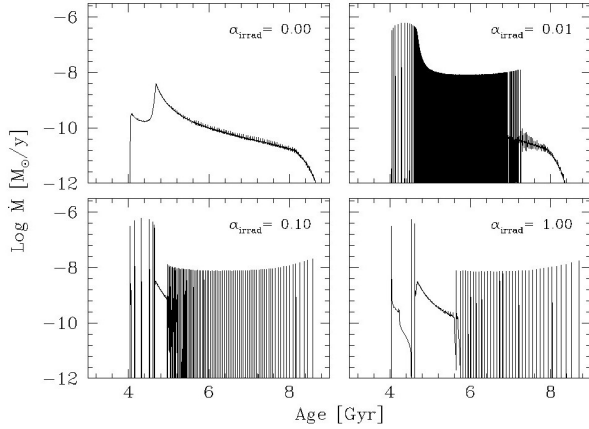


Fig. 3: Tasa de transferencia de masa para los modelos presentados en la Figura 1.

0.00, 0.10 y 1.00 no experimentan TM cíclica. Sí lo hace el modelo con $\alpha_{irr} = 0.01$.

A partir de estos resultados podemos concluir que el régimen de baja irradiación, correspondiente a $\alpha_{irr} = 0.01$, provee un modelo que describe adecuadamente las características observadas (M_2 , T_{eff} , P_{orb} , q) del sistema *redback* PSR J1723-2837.

4. Conclusiones y Trabajo a futuro

El planteo teórico de los modelos con irradiación es consistente con las observaciones presentadas por Crawford et al. (2013) para la acompañante de PSR J1723-2837. La irradiación conduce a episodios de TM cíclica, y al estado de *quasi-RLOF*, que está en acuerdo con las transiciones observadas en estos sistemas (LMXB a PMS y viceversa). La escala de tiempo característica para la TM cíclica es el orden de millones de años. Sin em-

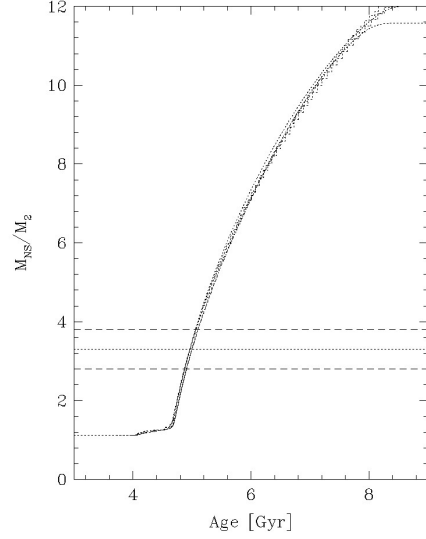


Fig. 4: Cociente de masas en función del tiempo para los modelos presentados en la Figura 1. Con línea de puntos horizontal se muestra el valor estimado para el cociente de masas, mientras que las líneas quebradas horizontales representan el error en este valor.

bargo, hay varios sistemas que se han sido registrados cambiando de un estado a otro en lapsos de tiempo del orden de meses - años. Parece natural buscar una solución a esta cuestión en fenómenos de corta escala, como aquellos asociados a inestabilidades en el disco de acreción que rodea a la EN.

Referencias

- Bassa C. G., et al., 2014, MNRAS, 441, 1825
 Benvenuto O. G., De Vito M. A., 2003, MNRAS, 342, 50
 Benvenuto O. G., De Vito M. A., 2005, MNRAS, 362, 891
 Benvenuto O. G., De Vito M. A., Horvath J. E., 2012, ApJL, 753, L33
 Benvenuto O. G., De Vito M. A., Horvath J. E., 2014, ApJL, 786, L7
 Büning A., Ritter H., 2004, A&A, 423, 281
 Crawford F., et al., 2013, ApJ, 776, 20
 De Vito M. A., Benvenuto O. G., 2012, MNRAS, 421, 2206
 Papitto A., et al., 2013, The Astronomer's Telegram, 5069, 1
 Patruno A., et al., 2014, ApJL, 781, L3
 Roy J., Bhattacharyya B., Ray P. S., 2014, The Astronomer's Telegram, 5890, 1
 Stappers B. W., et al., 2013, The Astronomer's Telegram, 5513, 1
 Stevens I. R., Rees M. J., Podsiadlowski P., 1992, MNRAS, 254, 19P
 Wijnands R., van der Klis M., 1998, Nature, 394, 344